

dc_757_13

MTA Doktori Értekezés Tézisei

**ÉLELMISZERIPARI MELLÉKTERMÉKEK ÉS HULLADÉKOK
HASZNOSÍTÁSÁNAK ÚJ IRÁNYAI**

HODÚR CECILIA

2013

1. Előzmények és Célkitűzés

A mezőgazdaságban és az élelmiszeriparban, - hasonlóan a többi iparághoz, és a gazdasági élet egyéb területeihez-, az energiagazdálkodás mellett a hulladékkezelés, vízgazdálkodás, a víz- és szennyvíztisztítás egyre nagyobb prioritást élvez mind gazdasági, mind pedig környezetgazdálkodási szempontból. Az Európai Unió hulladékok kezelésével kapcsolatos direktívái nagy kihívást jelentenek a tagállamok számára. A cél a Közösség VI. Környezetvédelmi Akcióprogramja értelmében, 2002-2012 között a hulladék mennyiségének 20%-os, 2050-ig 50%-os csökkentése.

2010-ben a gazdasági tevékenységekből és a háztartásokból származó hulladék teljes mennyisége az EU hivatalos honlapja alapján (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>) az Európai Unió 27 tagállamában 2 570 millió tonna volt, ami csökkenő tendenciát mutat a 2006 óta jegyzett értékkel összehasonlítva. Ez a viszonylag alacsony érték, legalább részben, a gazdasági és pénzügyi válság miatt bekövetkezett visszaesést tükrözi. Magyarországon a keletkezett hulladék mennyisége 2010-ben 15,7 millió tonnát tett ki, míg a vízgazdálkodásból, szennyvíztisztításból eredő hulladék mennyisége 540 ezer tonna. A tagállamokban egy lakos átlagosan 5,1 tonna hulladékot termel, Magyarországon 1,2 tonnát, amelyből a nem ásványi eredetű hulladék egy lakosra jutó mennyisége 1 tonna.

Az Európai Területfejlesztési Perspektíva hangsúlyozza a helyi erőforrások alkalmazásának fontosságát és ezen erőforrások között az ipari, kommunális hulladékokat és a biomasszát tartják a lehetséges energiaforrások legnagyobb feltáratlan potenciáljának. Ezeknek a forrásoknak energiaforrásként történő kiaknázása a kis- és közepes vállalkozásokhoz illeszkedően, újszerű technikai megoldások alkalmazásával kiváló lehetőségeket jelent (<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>).

Az agrárgazdaságban, valamint az élelmiszerfeldolgozás során keletkező szennyvizek, folyékony hulladékok és melléktermékek különösen gazdagok olyan szerves alkotókban, melyek hasznosítása környezetgazdálkodási, környezetvédelmi szempontból is előnnyel jár. Magyarországon az élelmiszeripari üzemek általában kétlépcsős szennyvíztisztítási technológiát alkalmaznak. Az első fázisban a szuszpendált részecskék kiülepítése történik, a második fázisban a szerves anyag tartalom mennyiségének lecsökkentését, részleges eltávolítását végzik kémiai ágensek segítségével. A biológiai tisztítási

lépés hiánya miatt sok szennyvíziszap keletkezik és az elfolyó tisztított szennyvíz kémiai oxigénigénye igen magas.

Kisméretű élelmiszerfeldolgozó üzemek szennyvízkibocsátásának mennyiségi és minőségi fluktuációja a kezelési technológiáktól rugalmas kapacitást követel meg, a tisztítási hatékonyság állandósága mellett. Egy lehetséges, gyakran alkalmazott módszer, az öntözésre történő felhasználás. A szennyvíz nitrogén és foszfor tartalma előnyössé teszi ugyan ezt a felhasználási módot, de a kation tartalom ellene szól. Luo és munkatársai (2004) publikálták, hogy a hosszú ideig tartó, húsipari szennyvízzel történő öntözés, jelentős mértékben megváltoztatta a termőföld kation-cserélő képességét, így rontotta annak minőségét, és ez a tény mindenképpen kétségesse teszi a szennyvizek öntözővízként történő, hosszú távú alkalmazásának fenntarthatóságát.

Az élelmiszeriparban termelődő folyékony halmazállapotú melléktermékek közül a savó képviseli az egyik legjelentősebb mennyiséget. Világszerte mintegy 150 millió tonna savó termelődik évente, ennek túlnyomó része elsősorban a fejlődő országokban (Leite, 2000; Saddoud, 2007). Ez a mennyiség jelentős anyagmérleg hiányt jelent az üzem, és jelentős terhelést a környezet számára, elsősorban a savó és a savó tartalmú szennyvizek magas szervesanyag tartalma miatt. A hagyományos szennyvíztisztítási módszerek nem megfelelőek a savó lerakókban történő elhelyezését megkövetelő stabilizációra. (Siso, 1996). A savót magas kalcium és kálium tartalma, valamint főként vízzoldható fehérje, aminosav és tejcukor tartalma viszont igen értékes melléktermékké teszi (Homonnay és Koncz, 2005).

A keletkező szennyvíziszap mennyiségének csökkentésére Eskicioglu és munkatársai szerint (2008) három lehetőség is adódik: a) oxidációs módszerekkel csökkenteni a szervesanyag tartalmat, b) a nyersiszap feldolgozásába beiktatni egy előkezelési technikát, c) az utókezelésnél biológiai stabilizációt alkalmazni. Az iszapok ún. extracelluláris polimer szerkezetének kialakításában a szénhidrátok, fehérjék, zsírok, nukleinsavak mellett többértékű kationok, más szerves és szervetlen molekulák és mikrobiális sejtek vesznek részt (Neyens 2004.). Ez a komplex struktúra igen ellenálló minden közvetlen hatással szemben. Zárt szerkezete nem teszi hozzáférhetővé az egyes komponenseket az alkalmazott, fizikai, kémiai, mikrobiológiai vagy enzimes lebontás számára. A harmadik generációs biomassa olyan rendszereket képez tehát, amely feltárása csak komplex módon történhet és mind művelettani, mind energetikai szempontból jelentős kihívást képvisel.

A tudományterület művelői felismerték a harmadik generációs biomassza források feldolgozásában rejlő lehetőséget és számos kutatás indult a melléktermék- és hulladékhasznosítás területén a klasszikus eljárásokra alapozva. A kidolgozott módszerek ugyanakkor túlnyomó részt csak egy-egy célfolyamatra irányulnak és többségüknél hiányzik az elméleti alapok tisztázása és igazolása.

Tudományos munkám célja a ma még hulladékként, melléktermékként számon tartott, de a jövő szempontjából második, ill. harmadik generációs biomassza, bioenergia források hasznosításának felfedező kutatása, a kidolgozott kezelési eljárások elméleti megalapozása, elsősorban a membrános szétválasztási műveleteken alapuló ózonozással, enzimkezeléssel kombinált eljárások valamint mikrohullámú hőközlés alkalmazásával.

A hulladék- és vízgazdálkodásban új irányzat a membrántechnika alkalmazása, amely az élelmiszeripar, gyógyszeripar vagy a klasszikus vegyipar gyártási folyamatainál már bevált, régóta alkalmazott módszer. Különösen ígéretesek azon törekvések, amelyeknél a membránszeparáció további technológiának szolgáltató alapanyagforrást, energiatermelésre használható biomasszát.

A membránszeparáció az elmúlt 25 évben terjedt el az élelmiszeriparban. A felhasználás volumenét jellemzi, hogy világviszonylatban a membrántechnológiára költött 250 milliárd dollárnyi forgalomból mintegy 20-30%-val részesül az élelmiszeripar (Mohammad és mtsi., 2012). Az élelmiszeriparon belüli növekedési részaránya 7,5 % ami főként a tejipari, italipari és tojáslé feldolgozási fejlesztésekből áll össze. A tejiparban felhasznált membránfelület jelentős hányada a savófeldolgozásban kerül felhasználásra (Timmer és Van der Horst, 1998).

A membránszeparációs technikák széleskörű elterjedését igazoló előnyök az alábbiakban foglalhatók össze: jobb minőségű végtermék, versenyképesség, kedvezőbb környezeti hatás, lényegesen kisebb ökológiai-lábnyom (Lim és Mohammed, 2011). A számos előnyt a membráneltömődés, a „fouling” jelensége csökkenti, sőt akár felül is írja. Az eltömődést a biológiai szuszpenziók kolloid részecskéinek, makromolekuláknak, a membrán felületén, illetve a membrán pórusaiban történő lerakódása okozza. Ez a jelenség a szűrési sebesség (fluxus), csökkenéséhez vezet, ami szükségessé teszi az előkezelések alkalmazását, a gyakoribb membrántisztítást, a membráncserét és ezzel egyidejűleg megnöveli a fenntartási és működési költségeket.

Tudományos munkáimban a a membrán-eltömődés okozta, csökkenő membrán teljesítmény mérséklésének lehetőségeit is vizsgáltam a membránszeparációs technikák valamint a különböző előkezelésekkel kombinált membrános műveletek termékgyártási, hulladék feldolgozási lehetőségeivel összekapcsolva.

A mechanikai megoldások közül a membrán felszínén kialakuló nyíró erő fokozásának hatását vizsgáltam meg két különböző módon: helyi turbulencia fokozását előidéző szilárd részecskék, illetve vibráció alkalmazásával.

Az alkalmazott előkezelések közül a magas kémiai oxigénigénnyel jellemezhető anyagok esetében az ózonkezelés bizonyult alkalmas eljárásnak. Az ózon, mint erélyes oxidálószer jól ismert, és egyre gyakrabban alkalmazott fertőtlenítő szer. Az ózon oxidációs erélyét a membránszűrést megelőzően használtam ki, és vizsgáltam az így átalakult szennyvízstruktúra szűrhetőségi, szeparációs tulajdonságait. Előkezelő műveletként olyan klasszikusnak számító eljárást is alkalmaztam, mint amilyen az enzimes kezelés.

A mikrohullámú hőközlés egyrészt az időegység alatt a tömegegységnyi anyagba bevihető energiaáram lehetséges mennyisége, másrészt a hőközlés hatására az anyagban kialakuló egyenletesebb hőmérséklet-eloszlás miatt alkalmazható előnyösebben műveletek intenzifikálására. A hagyományosnak tekinthető módszerek többségét, pl. a kontakt hőközlést, az infravörös sugárzással történő hőközlést, a konvekciós hőközlést az jellemzi, hogy a hőáramot a „felületen” át juttatja az anyagba. A vizsgált anyagok többsége rossz hővezető, ezért ezek csak igen intenzív hőközléssel kezelhetők hatékonyan. A nagy hőáram viszont minőségrontó helyi túlmelegedést okoz. A hátrányos hatások elkerülhetők, ha a hőkeltés nem az anyag felületén keresztül, hanem az anyag belsejében történik amelynek disszipált hőárama az anyagban egyenletesen oszlik el.

2. Elméleti megfontolások és kísérleti eszközrendszer

Tekintettel arra, hogy tudományos munkáimban alapvetően a mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladékok és melléktermékek további felhasználását, az összetételükben rejlő potenciál kiaknázását tekintettem alapvető célkitűzésnek, ezért disszertációmban az alapanyagok igen széles skálája található meg a gyümölcslevektől, a szennyvizeken át, a valós rendszerek vizsgálatát előkészítő, segítő modell oldatokon keresztül a sertés hígtrágyáig.

Gyümölcslevek: Az antocianinokban és fenolokban gazdag bogyós gyümölcsök – fekete ribizske, piros ribizske, málna, bodza – teljes körű feldolgozásuk során számos változatban kerültek vizsgálatra, akár gyümölcslé, akár présmaradék, akár présmaradék vizes extraktumának formájában.

Szennyvizek: Tudományos munkáimban elsősorban élelmiszeripari (tejipari szennyvíz, húsipari szennyvíz) területről származó szennyvizek mellett más eredetű, más szennyezési jellemzőkkel rendelkező elfolyó leveket, melléktermékeket, például édes és savanyú tejsavó, és a modellezésükre szolgáló oldatokat is felhasználtam. A szennyvízmintákat a többnyire dobszűrős szeparálást követően vettem, így az 1 mm-nél nagyobb méretű szennyeződések már eltávolításra kerültek.

Zagyok: Az alkalmazott szennyvíziszap minták a kémiai flotációs tisztítást követő ülepítő tartályból kerültek begyűjtésre. A flotációhoz vas (III)-kloridot, vas-alumínium-szulfátot és anionos poli-akrilimidet alkalmaztak. A mérések előtt a szennyvíziszap mintákat ultrahangos készülékkel homogenizáltam.

Berendezések: A Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézetének Membrántechnikai laboratóriumában található szakaszos és folyamatos működésű membránszűrő berendezések mellett kísérleteimhez felhasználtam partner intézményeink (Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszertudományi Kar, Oului Egyetem Transzportfolyamatok Laboratóriuma) rendelkezésére álló berendezéseket is. Ezzel, a berendezéstípusok szempontjából nagyon széles alkalmazási tartománnyal alapvető célom az volt, hogy magára a hulladékhasznosítási folyamatban alapvető transzportfolyamatra jellemző összefüggéseket és modelleket tudjak alkotni, a berendezés működési értéktartományaitól, a konfigurációjától függetlenül;

illetve bizonyítsam a berendezés szerkezetéből, a modul konfigurációjából adódó eltéréseket.

Az alkalmazott szakaszosan működtethető membránszűrő berendezések gyors teszteléseket tesznek lehetővé, akár a membrán tulajdonságaira, akár a fluidum – membránalapanyag kölcsönhatására vonatkozóan. A folyamatos működésű berendezések segítségével az elválasztások időfüggését, dinamikáját és az állandósult állapot kialakulását követő jellemzők meghatározását végeztem.

Valamennyi alkalmazott berendezés keresztáramú elrendezésű, így a membránszűrésre jellemző felületi szűrés negatív hatása első megközelítésben kivédhető. A felépítésében „dead end” rendszerű berendezésünknel (kevertetett membránszűrő) a membrán felszínén a keverővel előidézett intenzív áramlás már ezt az elrendezést is a keresztáramú kialakítású berendezések közé helyezi a hidrodinamikai hatások miatt.

Alkalmazott berendezések:

- Kerámiacsöves mikroszűrő
- Síkmembrános cirkulációs berendezés
- Csöves membránszűrő
- Csőköteges membránszűrő
- Kevertetett membránszűrő
- Vibrációs membránszűrő

Valamennyi membránszeparációs művelet kulcseleme az a kérdés, hogy a különböző paraméterek, úgymint a membrán ellenállás, műveleti hajtóerő, a membrán - folyadék határfelület hidrodinamikai körülményei, valamint a membránfelület eltömődése milyen hatással vannak a permeátum fluxusára (J).

$$J = K(\Delta p_{TM} - \Delta \pi_{TM}) \quad (m^3 m^{-2} s^{-1}) \quad (1)$$

K jelöli a membrán permeabilitását, Δp_{TM} (Pa) jelöli a transzmembrán nyomást, $\Delta \pi$ (Pa) a membrán két oldala között fenálló ozmózisnyomás különbséget.

Sok kísérletnél, ahol különböző membránnal, különböző berendezéssel vagy különböző paraméterek mellett, esetleg eltérő előkezeléssel előkészített fluidumok összehasonlítását végezzük, célszerű a relatív fluxus és/vagy a fajlagos fluxus értékének az alkalmazása.

Relatív fluxus (J/J_0) az az arány, ami az adott időpillanatban mért fluxus érték, J , és a zero időpontra extrapolált fluxus érték arányából számítható.

Fajlagos fluxus (J_n) az egységnyi nyomáskülönbség hatására kialakuló térfogatáram sűrűség értéke, mértékegysége: $\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$, vagy $\text{ms}^{-1}\text{Pa}^{-1}$.

Az energiatakarékos feldolgozás igénye felvetette a membránszeparáció más műveletekhez kapcsolt felhasználását. A nagyhatékonyságú oxidációs eljárások, különösen az ózonnal végzett oxidáció nagyon ígéretes előkezelési módszer a szakirodalmak szerint. A szennyvizek, csurgalék vizek membrános kezelése esetében (Hyung és mtsi., 2000; Watanabe és mtsi., 1997; László és mtsi., 2007; Ntampou és mtsi., 2006) az előzetes oxidációs eljárás megnöveli a permeabilitást, lecsökkenti az ellenállás értékét, elősegíti a peremátum környezetbiztonsági értékhatárainak elérését, megkönnyíti annak biztonságos betartását.

A membránszeparáció eredményeként kapott koncentrátum vagy éppen a permeátum további hasznosításánál, ártalmatlanításánál pedig a mikrohullámú energiaközlést publikálták néhány esetben ígéretes lehetőségként (Jones és mtsi., 2002; Eskicioglu és mtsi., 2007; Beszédes és mtsi., 2007, 2009).

Ezért megvizsgáltam az enzimkezelés, ózonozás és a mikrohullámú energiaközlés alkalmazási lehetőségeit is, akár mint kiegészítő, akár mint fő eljárási műveleteket.

Ózonkezelés: Az ózonos előkezelés során az ózont oxigénből (Linde, 3.0 oxigénpalack) állítottuk elő korona kisüléssel elven működő ózon generátorral (Ozomatic Modular, Wedeco Ltd., Germany). A termelődő ózont folyamatosan buborékolattuk át a reaktoron. A kezelési időt és a buborékolatott gáz térfogatáramát változtattuk a mérések során. A folyadék által elnyelt ózon koncentrációját UV spektrofotométerrel (WPA Lightwave S2000, Németország) határoztuk meg úgy, hogy a reaktorba bemenő és kimenő gáz abszorbanciáját mennyiségét átáramlásos küvetta segítségével folyamatosan mértük 254 nm-en, az ózon elnyelési maximumán.

Mikrohullámú hőkezelés: A mikrohullámú kezeléseket egy változtatható teljesítményű folyamatosan sugározó magnetronnal felszerelt, monomódusú üregrezonátorral rendelkező berendezésben hajtottuk végre. A 2450 MHz frekvenciájú magnetron teljesítménye egy toroid transzformátor segítségével 100-700 W között fokozatmentesen változtatható. A berendezés üregrezonátora a minta cserélhetőségének megkönnyítése céljából két részből állítható össze, a felső rész egy hidraulikus mechanizmussal emelhető, a két

rész illesztésénél az elektromágneses sugárzás kijutásának megakadályozására hullámcsapda került beépítésre.

A kezelések során a fajlagos mikrohullámú teljesítményszintet (MWPL) és a besugárzott mikrohullámú energia értékét (IMWE) változtattam, amelyeket a következő összefüggések segítségével adtam meg:

$$MWPL = \frac{P_{\text{magnetron}}}{m_{\text{min ta}}} \quad [Wg^{-1}] \quad (2)$$

$$IMWE = \frac{P_{\text{magnetron}} \times \tau \times I}{100 \times m_{\text{min ta}}} \quad [Jg^{-1}] \quad (3)$$

τ - teljes kezelési idő (s), I – a magnetron egységnyi időperiódusra eső sugárzási időhányada, $P_{\text{magnetron}}$ - a magnetron teljesítménye (W), m_{minta} - a minta tömegéből (g) MWPL - fajlagos mikrohullámú teljesítményszintet (Wg^{-1}), IMWE - a besugárzott mikrohullámú energia értéke (Jg^{-1})

Hulladékok esetében biológiai stabilizáció szerepet tölthet be egy enzimaktivitáshoz köthető, anaerob lebontás, ami egyre elterjedtebb módszer, hiszen ez egyúttal a bioenergia termelést is szolgálhatja.

Az anaerob lebontás négy fő lépésből áll: hidrolízis, savképződés, acetát képződés, és a metántermelődé (Gavala, 2003; Kim, 2003). Hidrolízis – az egyszerű szerves molekulák képződésének szakasza, fakultatív anaerob mikroorganizmusok segítségével történik. Savképzés – savképző baktériumok a szerves savak mellett szén-dioxidot és hidrogént termelnek. Acetát képződés – elsősorban ecetsav képzés periódusa. Metánképződés – a metanogén baktériumok metánt és szén-dioxidot termelnek.

Elméletileg a szennyvíziszapok, különösen az élelmiszeriparban termelődő szennyvíziszapok rendkívül jó alapot szolgáltatnak a biogáz termeléshez, de a

rendkívül erős, a hidrolízisnek ellenálló extracelluláris polimer szerkezetük (EPS) megnehezíti anaerob lebontásukat, és így a biogáz termelésnek is határt szabnak (Higgins és Novak, 1997).

Az anaerob lebontási teszthez folyamatosan kevertetett laboratóriumi reaktort alkalmaztunk, mely Oxitop C (WTW Inc.) barometrikus mérőfejjel volt felszerelve. A lebontás mezofil körülmények között történt. A kettős minta beállítások egyike KOH-t tartalmazott, így a keletkező CO₂ megkötésével a biogáz CO₂-mentes részaránya mérhetővé vált. Az alkalmazott inokulumot egy működő szennyvíztisztító üzem biológiai tisztító telepéről kaptam.

A bogyós gyümölcsök ultraszűrését megelőzően az enzimes kezeléshez a Panzym Super E (PSE) folyékony ill. Trenolin enzimkészítményt (E.Begerow GmbH & Co., Germany) alkalmaztam. A pektinlebontás folyamatát alkoholos kicsapatás-tesztrel ellenőriztem, majd ezt követően hőkezeléssel történt az enzim inaktiváció.

Statisztikai módszerek: A statisztikai elemzéseket statisztikai programok és módszerek segítségével végeztem el. A Statistica release 8 (StatSoft, Inc., USA) programcsomag alkalmazása mellett, elsősorban a variancia analízisekhez, az ANOVA programot használtam. Az ANOVA alkalmazásához szükséges feltételek az adatok normális eloszlása és a szórások egyezése. Ezen feltételek közül a normális eloszlásra vonatkozó feltételek ellenőrzését Sharpio-Wilk tesztrel, a szórások egyezésére vonatkozó feltétel pedig a Cochran tesztrel végeztem. Azokban az esetekben pedig, amikor a műveleti paraméterek optimalásának meghatározása volt a cél, a MODDE 8 válasz-felület statisztikai elemző módszert alkalmaztam.

3. Tudományos eredmények - tézisek

3.1. A membránszeparációra vonatkozó megállapítások

A klasszikus membránszeparációs kutatásaimnál arra kerestem a választ, hogy milyen módszerekkel és technikákkal lehet a szűrési teljesítményt növelni, ill. a membránszűrésekre jellemző szűrési sebesség – fluxus – csökkenésének mértékét lassítani, vagy kiküszöbölni.

Gyümölcslevek sűrítésénél az enzimés előkezelés lehetőségét és hatását vizsgáltam meg. Pektin és cellulózbontó enzimekkel végzett előkezeléseket követő ultra-, nano- és hiperszűrés esetében. Mértem az alkalmazott enzim mennyiségének és a kezelési paramétereknek a hatását. A gyümölcslé préselésekor visszamaradó törkölyök vizes extrakciójából nyert fluidum membránszeparációval történő koncentrálását is elvégeztem és összehasonlítottam a fluxus csökkenését előidéző hatásmechanizmusokat az ellenállás típusok arányának változása segítségével.

- 1. Bizonyítottam, hogy a gyümölcslevek membránszeparációjánál, ultra-, nanoszűrés és reverz ozmózis esetében, mind pektinbontó, mind cellulózbontó enzimekkel történő előkezelés hatására tapasztalható hatékonyságnövekedés oka a koncentrációpolarizációs réteg ellenállásának csökkenése. Igazoltam, hogy a szeparációs folyamatot a hőmérséklet jelentősebben javítja, mint az enzim mennyiség. (SP2, SP3, SP4, SP5).**
- 2. Igazoltam, hogy gyümölcslevek sűrítésénél a koncentrációpolarizációs réteg ellenállása, törköly-extraktumok sűrítésénél pedig az eltömődési ellenállás a meghatározó ellenállásfoma. (SP1).**

A membránszeparációs feldolgozás és alkalmazás területén a szennyvizek még nem képviselnek jelentős volument, különösen hazánkban nem, de az EU szabályozás és a vízkészleteink, a környezetünk védelme mihamarabb a legfókuszáltabb területté teszi ezeknek a „rendszereknek” a vizsgálatát. Kísérleteimben elsősorban hús- és tejipari szennyvizeket vizsgáltam részint a termelői jelentős mennyiségük, részint pedig a gazdag szervesanyag tartalmuk miatt. A szennyvizek szervesanyag tartalma hasznosításának, illetve a technológiai mosóvíz nyerésének első lépése a membrános eljárással történő szétválasztás. Az üzemi, kisüzemi méretekben történő műszaki megvalósításhoz

szükséges adatokat és összefüggéseket modellezés segítségével határoztam meg. A modell becsült értékei jó egyezést adtak a mért értékekkel, amit a determinációs együttható magas, 0,9955, ill. a 0,994 értékei is jól mutatnak. A modell illesztés megfelelősége a fluxus és az ellenállásra vonatkoztatva 0,991, ill. 0,998, amely adatok bizonyítják a modell kiváló becslési erősségét. Az ismételhetőség 99,9 % fölötti értéknek adódott.

Megvizsgáltam a koncentrált szennyvízfázis alkalmazhatóságát a biogáz termelésre vonatkoztatva. A membránszeparációval nyert koncentrátum lúgos vagy savas előkezelést követően mintegy kétszeres (183 %) biogáz kihozatalt eredményez az eredeti szennyvíz biogáz kihozatalához képest.

- 3. Bizonyítottam, hogy a húsiipari és a tejipari eredetű szennyvizek membránszeparációjánál a műveleti paraméterhatások megegyeznek. Megalkottam a húsiipari szennyvizek reverz ozmózissal történő sűrítését leíró, mind a permeátum fluxusára (J_p), mind pedig a teljesellenállás (R_t) értékére vonatkozó modell egyenleteket, amelyekből kitűnik, hogy a permeátum fluxusra a nyomás és hőmérséklet van a legnagyobb szignifikáns hatással, a visszatartás értékére pedig a hőmérséklet fordított arányú hatással bír.**

$$J_p = 71,02 + 8,25p + 0,56q_{rec} + 2,71t - 4,98p^2 \quad (4)$$

$$R_t = 2,90 \cdot 10^{14} + 2,98 \cdot 10^{13}p - 3,65 \cdot 10^{12}q_{rec} - 3,95 \cdot 10^{12}t + 3,10 \cdot 10^{10}p^2 \quad (5)$$

(p - nyomás (MPa), q_{rec} – recirkulációs térfogatáram (m^3s^{-1}), t – hőmérséklet ($^{\circ}C$), (SP7, SP8)

Valamennyi membránszűrési eljárás legszűkebb keresztmetszete a művelet közben tapasztalható fluxus csökkenés, amelyet az ellenállás értékének növekedése okoz. Egy egyszerű, gyorsan meghatározható és az azonos hőmérséklet értékeken végzett szeparációk összehasonlítását lehetővé tevő mutatót, az ellenállás indexet vezettem be a szétválasztások jellemzésére.

- 4. Bizonyítottam, hogy a fluxus - idő ($J=(\tau)$) függvénykapcsolatok analizéséből kifejezett ellenállás index (k) csak a hőmérséklettől függ szignifikáns módon, és alkalmas a membránszeparációs folyamat alatt lejátszódó fluxus csökkenést okozó mechanizmusuk jellemzésére. (SP8)**

A szennyvizek pl. öntözésre történő felhasználásának egyik legfőbb akadálya a szennyvízben megtalálható ionok, sok esetben fémionok nagy mennyisége. Az ionok eltávolítása hagyományos kémiai módszerekkel kidolgozott, de híg oldatokból, mint amilyeneknek a szennyvizek tekinthetők, nem gazdaságos és nem hatékony. Reverz ozmózissal lehetséges a leválasztásuk, de nem célravezető, mert drága, és az összes, kívánatos, szén-, ill. nitrogénforrást adó komponens is leválasztásra kerül a művelet során. Az ultraszűrés, amely a lényegesen nagyobb fluxus értékei okán gazdaságosabb eljárás, nem ad lehetőséget a kisméretű ionok eltávolítására. Amennyiben azonban a fém ionokat egy, a membránok vágási értékénél nagyobb méretű rendszerhez, pl. kolloid micellákhoz kapcsoljuk, akkor bizonyos ionokat akár szelektíven is leválaszthatunk az egyéb ionokat is tartalmazó rendszerekből.

5. Bizonyítottam, hogy a kolloid micellákkal segített ultraszűrés hatékonyan alkalmazható módszer híg oldatokból történő cink ionok eltávolítására, konyhasó jelenlétében is. (SP6, SP7)

Sem a cink ionok, sem a Na-dodecil-szulfát, sem a konyhasó koncentrációja nem befolyásolja jelentősen a fluxus értékét. A nagyobb kezdeti Na-dodecil-szulfát koncentráció több micella képződését eredményezi, amelyek negatív töltésű felületeihez kötődő cink ionok az ultraszűrő membrán pórusain nem jutnak át, vagyis megnő a visszatartás értéke. A NaCl koncentráció növelése negatív hatással van a cink ionok visszatartására. A cink ion koncentráció növekedése is negatívan befolyásolja a visszatartás értékét, hiszen a micellák negatív töltésű kötőhelyeinek száma véges, az ezen felüli ionmennyiség rontja a visszatartás értékét, ez a magyarázata annak, hogy híg cinkoldatok esetében miért hatékonyabb a micellás-ultraszűrés más eljárásokhoz viszonyítva.

3.2. A membránszeparációs nyíróerő növelésére vonatkozó megállapítások

A fluxus csökkenés mérséklésére mechanikai, ill. kémiai előkezelési módszereket is alkalmaztam. A mechanikai módszerek közös jellemzője a membrán felszínén kialakuló nyíróerő növelése. Ezt két különböző módon közelítettem meg, az első, a helyi turbulenciát okozó mikro-részecskék adagolásának vizsgálata.

6. Bizonyítottam, hogy a betáplált oldathoz adagolt mikro-részecskék fluxus növelő hatását jelentősen befolyásolja az adagolt részecskék

mérettartománya és mennyisége. A kiváltott hatás oka a részcskék által kiváltott helyi turbulencia, helyi nyíró erő megnövekedése. (SP10, SP11)

A membrán oszcilláló mozgásával kialakított nyírásnak a szeparációs műveletre kifejtett hatását vibrációs elv alkalmazásával tanulmányoztam. A vibrációs berendezés segítségével elsőként tudtam ezeket a vizsgálatokat elvégezni hazánkban. Azonos membránok felhasználásával a hagyományos keresztáramú, ill. a kevertetett rendszereknél mért értékekkel a vibráció által előidézett hatást hasonlítottam össze. A vibráció hatására a fluxus értéke megnő, a gélréteg ellenállás lecsökken, az eltömődési ellenállás aránya a teljes ellenálláson belül viszont relatívan megnő, mind a hagyományos keresztáramú, mind a kevertetett áramlású rendszerekben végzett ultraszűréseknél kialakuló ellenállás arányokhoz viszonyítva. Ezek az arányváltozások pozitívan befolyásolják a visszatartási értékek alakulását is.

7. Igazoltam, hogy vibráció hatására a vizsgált fluidumtól függetlenül, nemcsak lecsökken az összesellenállás értéke, hanem a rész ellenállások aránya is megváltozik. (SP12, SP13, SP16, SP17)

8. Kísérleteimmel elsőként bizonyítottam, hogy a vibrációs membránszűrés esetében a hagyományos membrános eljárásokkal szemben, a besűrítési arány növekedésével nem nő a peremeátum koncentrációja, azaz nem csökken a visszatartás értéke. (SP 13, SP 14)

A nagyobb teljesítményt és jobb elválasztást eredményező vibráció, az oszcilláló mozgás fenntartása miatt, többlet energiaköltséggel jár. Megvizsgáltam ennek fajlagos, egységnyi permeátumra vonatkoztatott energiaigényét és összehasonlítottam a nem vibráltatott szeparációk energiaigényével.

9. Új mérőszám, a fajlagos energiaigény segítségével bizonyítottam, hogy az ultraszűrés, nanoszűrés és reverz ozmózis esetében is van olyan transzmembránnyomás határérték mely felett a vibrációs membránszűrés fajlagosan kevesebb energiát igényel, mint a nem vibráltatott rendszerű szeparáció. (SP15)

A vibráció amplitúdójának és a fajlagos energiaigénynek az összefüggése mind az ultraszűrés, mind a nanoszűrés, mind a reverz ozmózis esetében kismértékű monoton csökkenést mutat. A nagyobb amplitúdó előállításához

szükséges energiatöbbletet közel kiegyenlíti az általa előidézett fluxus érték növekedés.

3.3. Ózonos előkezelésre vonatkozó megállapítások

Az élelmiszeripari szennyvizek gazdag szervesanyag tartalma miatt csak a drágább membránszeparációs műveletekkel, reverz ozmózissal sikerül a hatásági határértékeket elérni. A nagyhatékonyságú oxidációs eljárásokkal, ezek közül az ózonos előkezelést követő nanoszűréssel, vagy akár ultraszűréssel is elérhető az előírt kibocsátási határérték a betáplált szennyvíz kezdeti értékétől függően.

Mind a hosszabb idejű ózonozás, mind az ózonreaktorban kialakított kisebb gázáramlási sebesség növelte a relatív fluxus értékét, mert a hosszabb reakcióidő már a molekulák oxidációs lebontását is lehetővé teszi, és a képződő kisebb molekulák át tudnak jutni a membrán pórusain. 20 perces ózonozás már szignifikánsan csökkentette a visszatartási értékeket. Az alacsonyabb gázáramlási sebesség ($0,5 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$) esetében az eltömődési ellenállás értéke jelentősen csökkent, míg a nagyobb sebességeknél a gél réteg növekedése volt meghatározó; ezek magyarázata az ózon mikro-flokkuláló hatásában rejlik. Mindezeket a tapasztalati értékeket és elméleteket igazolja a húsipari szennyvíz ózonozást követő ultraszűrésére alkalmazott Makardij modell eredménye is, mely szerint a kezdeti fluxus érték és az eltömődést jellemző ellenállás index is meredeken és monoton csökken az ózónási idő növelésével, k_1 azaz a fluxus csökkenés sebesség indexe monoton nő az ózonozás idejének növelésével, míg a k_2 – réteg elhordási sebesség együtthatója, az ózonozás idejének növekedésével csökken.

10. Bizonyítottam, hogy az ózonozással kombinált nanoszűrésí illetve ultraszűrésí művelettel nyert élelmiszeripari szennyvíz-permeátum kémiai oxigénigénye az előírásí határérték alá csökkenthető. A rövid idejű ózonozás hatására flokkuláció, a hosszabb idejű ózonozás esetében a nagymolekulájú anyagok oxidációja idézi elő a relatívfluxus növekedését (SP18, SP19, SP20).

3.4. A zagyok mikrohullámú kezelésére vonatkozó megállapítások

Kísérleti munkám során a mikrohullámú kezelések más, a melegítéssel közvetlenül kapcsolatba nem hozható, illetve azon túlmutató hatását vizsgáltam meg és alkalmaztam hulladékok és melléktermékek hasznosítása során. Azért, hogy a hőmérsékleti hatást kizárjam, konvektív hőközlést is végeztem mintáimnál.

A mikrohullámú energiabevitel hulladékok és melléktermékek esetében szignifikánsan megnövelte azok biológiai lebonthatóságát és biogáz termelő képességét. Ezek a hatások bizonyítottan szignifikáns összefüggésben állnak a vizsgált alapanyagok komponenseinek oldékonyság-növekedésével.

11. A mikrohullámú kezelések szervesanyag lebontó hatásának kifejezésére kidolgoztam két jelzőszámot, amelyek a kiindulási anyag összetételétől függetlenül, csak az alkalmazott módszer hatásosságát jellemzik. Ezek a szerves anyagok oldékonyságának jellemzésére szolgáló jelzőszám (ΔS_{OM}), ill. a biológiai lebonthatóság (ΔBD) kifejezésére szolgáló jelzőszám (SP30):

$$\Delta S_{OM} = \frac{\frac{sKOI - sKOI_{kezd}}{pKOI - pKOI_{kezd}}}{\frac{sKOI_{max}}{pKOI_{min}}} \times 100 \quad [\%] \quad (6)$$

$$\Delta BD = \frac{\frac{BOI_5 - BOI_{5krad}}{tKOI - tKOI_{kezd}}}{\frac{BOI_{5max}}{sKOI_{max}}} \times 100 \quad [\%] \quad (7)$$

sKOI – vízdékony frakció kémiai oxigénigénye a kezelést követően, pKOI - a szilárd fázis kémiai oxigénigénye a kezelést követően; sKOI_{kezd} – vízdékony frakció kémiai oxigénigénye a kezelést megelőzően, pKOI_{kezd} - a szilárd fázis kémiai oxigénigénye a kezelést megelőzően, sKOI_{max} – vízdékony frakció kémiai oxigénigénye lúgos roncsolást követően, pKOI_{max} - a szilárdfázis kémiai oxigénigénye lúgos roncsolást követően.

BOI₅ - 5 napos lebontást követő biológiai oxigénigény, tKOI – teljes minta kémiai oxigénigénye, BOI_{5kezd} – a minta kezelését megelőző biológiai oxigénigénye, BOI_{5max} - lúgos roncsolást követő 5 napos lebontást követő biológiai oxigénigény, sKOI_{max} – vízdékony frakció, lúgos roncsolást követő kémiai oxigénigénye.

- 12. Elsőként vizsgáltam a bevitt mikrohullámú energia és a fajlagos teljesítmény oldékonyságra kifejtett hatását és meghatároztam az oldékonysági indexre vonatkozó optimum függvényt élelmiszeripari szennyvíziszapok mikrohullámú kezelése esetén.**

$$\Delta S_{OM} = 0,8085 + 0,301x_1 + 0,14x_2 + 0,0706x_1 \cdot x_2 - 0,237x_1^2 - 0,036x_2^2 \quad (8)$$

Az összefüggésben x_1 jelöli a fajlagos teljesítményszintet (Wg^{-1}) és x_2 jelöli a közölt mikrohullámú energia (kJg^{-1}) értékét.

A mikrohullámú kezeléseknek a biológiai lebonthatóság növelésére és a biogáz termelés fokozására kifejtett hatását már néhányan leírták, de vizsgálataik az alkalmazott hőmérséklet függvényében történtek. Kísérleteimnél a mikrohullámú energiabevitel és az alkalmazott fajlagos mikrohullámú teljesítménynek a hatását vizsgáltam meg.

- 13. Bizonyítottam, hogy a mikrohullámú energiaközlés biológiai lebontást, és metántermelést növelő hatása a mikrohullámú energia bevétel és a mikrohullámú fajlagos teljesítmény értékétől együttesen függ. (SP27, SP31)**

Az anaerob lebontásoknál termelődő biogáz mennyisége egy jelentős paraméter, de a legmeghatározóbb annak metántartalma. A mikrohullámmú térben kezelt mintáknál a termelődő metán részaránya szignifikánsan nagyobb.

- 14. Meghatároztam a mikrohullámmal kezelt élelmiszeripari szennyvíziszapok esetében termelődő biogáz által képviselt kihozatali energia érték és a mikrohullámú kezeléssel közölt beviteli energia érték különbségét leíró függvényt. (SP30)**

$$\Delta E = 326.12 - 27.29X_1 - 237.74X_2 - 4.017X_1^2 - 470.79X_2^2 - 385.9X_1X_2 \quad [J] \quad (9)$$

melyben: x_1 jelöli a fajlagos teljesítmény szintet (Wg^{-1}) és x_2 jelöli a közölt mikrohullámú energia (kJg^{-1}) értékét.

A mikrohullámú energiaközlés roncsoló hatását a bioenergia termelésen túl a hulladékhasznosítás más területein is kimutattam. Gyümölcstörkölyök feldolgozásánál a mikrohullámmal végzett extrakciós művelet számos előnnyel jár a hagyományos vizes kivonási eljáráshoz viszonyítva.

- 15. Bizonyítottam, hogy atmoszférikus nyomáson a mikrohullámú extrakcióval, gyümölcstörkölyből kinyert pektin és anthocianin kihozatali értéke nagyobb, mint azonos hőmérsékleten végzett vizes extrakció esetében. A mikrohullámú extrakcióval kinyert pektin minősége jobb, a konzisztencia értéke nagyobb, a folyásindex értéke pedig kisebb, mint a hagyományosan kivont pektin esetében mért értékek. (SP21, SP22, SP23, SP24)**

5. Az eredmények gyakorlati alkalmazásának lehetőségei

A növekvő érdeklődés a vegyszermentes technológiák, a teljeskörű feldolgozási eljárások, a víz- és szennyvízkezelés, a második generációs bioenergia források iránt, lehetővé teszik, hogy a dolgozatomban közölt eredmények a gyakorlati életben is megvalósuljanak.

A membrános szétválasztási, sűrítési műveletekhez, mind a gyümölcslevek, mind a szennyvíztisztítás esetében disszertációm az optimum függvények kapcsán számos adatot szolgáltat mind a műveleti paraméterek tekintetében, mind a membrán alapanyagára vonatkozóan, mind az előkezeléseket illetően.

A fluxus csökkenés lassítását célzó eredmények közül a mikrorészecskék felhasználását elsősorban a membrán bio-reaktorokban, nagy gélréteg ellenállást eredményező rendszerek szétválasztásánál célszerű alkalmazni.

A mikrohullámmal segített extrakciós kísérletek gyakorlati felhasználására vonatkozóan kettő szabadalmi bejelentés született:

1. **P0800157** alapszámú magyar szabadalmi bejelentés: Biogáz termelés és biogáz lebonthatóság (aerob és anaerob) növelése bogyós gyümölcsök préslepenyének mikrohullámú kezelésével.
2. **P0800488/5** bejegyzés alatt álló magyar szabadalmi bejelentés: Eljárás antioxidáns hatású színezékeket tartalmazó pektin kinyerésére hagyományos és mikrohullámmal intenzifikált extrakcióval.

Értekezés alapjául szolgáló saját közleményeim jegyzéke

- SP1 Hodúr C., Kertész Sz., Beszédes S., László Zs., Szabó G., (2009), Concentration of marc extracts by membrane techniques, *Desalination*, 241 (1-3), 265-271, IF: 2,034.
- SP2 Pap N., Kertész Sz., Pongrácz É., Myllykoski L., Keiski R., L., Vatai Gy., László Zs., Beszédes S., Hodúr C., (2009), Concentration of blackcurrant juice by reverse osmosis, *Desalination*, 241 (1-3), 256-264, IF: 2,034.
- SP3 Román A., Wang J., Csanádi J., Hodúr C., Vatai Gy., (2009), Partial demineralization and concentration of acid whey by nanofiltration combined with diafiltration, *Desalination*, 241, 288-295, IF: 2,034.
- SP4 Szép A., Kertész Sz., Beszédes S., László Zs., Hodúr C., (2009), Effects of pectinase and cellulase enzymes on the blackcurrant juice by reverse osmosis, *Journal on Processing and energy in Agriculture*, (3), 271-273.
- SP5 Pap N., Mahosenaho M., Pongrácz É., Mikkonen H., Jaakkola M., Virtanen V., Myllykoski L., Horváth-Hovorka Zs., Hodúr C., Vatai G., Keiski R., L., (2012), Effect of Ultrafiltration on Anthocyanin and Flavonol Content of Black Currant Juice (*Ribes nigrum* L.), *Food and Bioprocess Technology*, 5 (3), 921-928, IF: 3,703.
- SP6 Beszédes S., Pap N., Pongrácz É., Hodúr C., Keiskki R., L., (2010), Concentration of meat processing industry wastewater by reverse osmosis and anaerobic digestion of the concentrate. 3rd International Symposium on Energy from Biomass and Waste, *Proceedings, Venice, Italy*, 8-11 November 2010.
- SP7 Beszédes S., Pap N., Pongrácz É., Keiskki R., L., Hodúr C., (2011), Development of membrane wastewater purification process for meat industry SME's, *Annals of Faculty of Engineering Hunedoara*, (1), 133-139.
- SP8 Kertész Sz., László Zs., H-Horváth Zs., Hodúr C., (2008), Analysis of nanofiltration parameters on removal of an anionic detergent, *Desalination*, 221, 303-311, IF: 1,155.
- SP9 Kertész Sz., Aguirre J., L., Garcia V., Pongrácz É., Hodúr C., Keiski R., L., (2009), A statistical experimental design for the separation of zinc form aqueous solutions containing sodium chloride and n-butanol by micellar enhanced ultrafiltration, *Desalination and Water Treatment*, 9, 221-228.

- SP10 Szép A., Kertész S., László Zs., Hodúr C., (2010), The hydrodynamic effect of microparticles on membrane resistance, *Desalination and Water Treatment*, 14, (1-3) 227-232, IF: 0,752.
- SP11 Szép A., Kertész Sz., László Zs., Hodúr C., (2009), The effect of microparticles for the membrane resistance, *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 7 (4).
- SP12 Hodúr C., Kertész Sz., Csanádi J., Szabó G., (2009), Comparison of 3DTA and VSEP systems during the ultrafiltration of sweet whey, *Desalination and Water Treatment*, 10, 265-271.
- SP13 Hodúr C., Kertész Sz., Csanádi J., Szabó G., László Zs. (2009a), Investigation of vibratory shear-enhanced processing system, *Progress in Agricultural Engineering Sciences*. 5, (1), 97-110.
- SP14 Kertész Sz., Szép A., Csanádi J., Szabó G., Hodúr C., (2010), Comparison between stirred and vibrated UF modules, *Desalination and Water Treatment*, 14, 240-246. IF:0,752.
- SP15 Kertész Sz., László Zs., Forgács E., Szabó G., Hodúr C., (2011), Dairy wastewater purification by vibratory shear enhanced processing, *Desalination and Water Treatment*, 35 (1-3), 195-201. IF: 0,614.
- SP16 Kertész Sz., László Zs., Tunca S., H., Szabó G., Hodúr C., (2012), Treatment of industrial wastewater by VSEP filtration system, *IWA Regional Conference on Wastewater Purification & Reuse 2012, Heraklion, Crete, Greece, 28th, 29th & 30th of March, CD-full article*, ISBN 978-960-99889-2-6
- SP17 Kertész Sz., Beszédes S., László Zs., Szabó G., Hodúr C., (2010a), Nanofiltration and reverse osmosis of pig manure: Comparison of results from vibratory and classical modules, *Desalination and Water Treatment*, 14 (1-3), 233-238, IF: 0,752.
- SP18 Kertész Sz., László Zs., Szabó G., Hodúr C., (2006), Élelmiszeripari szennyvíztisztítás membránszűrés és ózonozás hibrid eljárással, *Membrántechnika*, 10 (3), 38-47.
- SP19 László Zs., Kertész Sz., Beszédes S., H-Hovorka Zs., Szabó G., Hodúr C., (2009), Effect of preozonation on the filterability of model dairy waste water in nanofiltration, *Desalination*, 240, 170-177, IF: 2,034.
- SP20 Hodúr C., Ábel M., Kiss Zs., László Zs., (2012), The effect of ozonation on the ultrafiltration of meat industrial wastewater, , *IWA 4th Eastern European Young and Senior Water Professionals Conference, StPeterburg, 4-5. 10. 2012 XVI (2)*, 6-15.
- SP21 Hodúr C., Beszédes S., Kertész Sz., László Zs., Szabó G., (2009), Maximum recovery of different types of berry byproducts, *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 13 (4), 312-314.

- SP22 Bélafi-Bakó K., Cserjési P., Beszédes S., Csanádi Zs., Hodúr C., (2012), Berry Pectins: Microwave-Assisted Extraction and Rheological Properties, *Food and Bioprocess Technology*, 5, 1100-1105, IF: 4,115.
- SP23 Pap N., Beszédes S., Pongrácz É., Myllykoski L., Gábor M., Gyimes E., Hodúr C., Keiski R., L., (2012a), Microwave-Assisted Extraction of Anthocyanins from Black Currant Marc, *Food and Bioprocess Technology*, 5 (3), 921-928, IF: 4,115.
- SP24 Cserjési P., Bélafi-Bakó K., Csanádi Zs., Beszédes S., **Hodúr C.**, (2011). Simultaneous recovery of pectin and colorants from solid agro-wastes formed in processing of colorful berries, *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 7(1), 65-80.
- SP25 Beszédes S., László Zs., Szabó G., Hodúr C., (2010), The possibilities of bioenergy production from whey, *Journal of Agricultural Science and Technology USA*, 4 (1), 486-492.
- SP26 Beszédes S., László Zs., Szabó G., Hodúr C., (2011), Effects of microwave pretreatments on the anaerobic digestion of food industrial sewage sludge, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 30 (3), 486-492, IF: 1,649.
- SP27 Beszédes S., László Zs., Horváth Zs., Szabó G., Hodúr C., (2011), Comparison of the effects, of microwave irradiation with different intensities on the biodegradability of sludge from the dairy and meat industry, *Bioresource Technology*, 102 (2), 814-821, IF.: 4,980.
- SP28 Beszédes S., László Zs., Szabó G., Hodúr C., (2008), Enhancing of biodegradability of sewage sludge by microwave irradiation, *Hungarian Journal of Industrial Chemistry*, 36 (1-2), 11-16.
- SP29 Beszédes S., László Zs., Kertész Sz., Szabó G., Hodúr C., (2008), Increasing the soluble organic matter content and biogas product of sewage sludge by microwave pretreatment, *Hugarian Agricutual Engineering*, 21, 27-30.
- SP30 Beszédes S., Ábel M., László Zs., Szabó G., Hodúr C., (2011), Application of response surface methodology to optimize microwave sludge conditioning for enhaced biogas production, *Annals of Faculty of Engineering Hunedoara*, 9 (2), 189-193.
- SP31 Beszédes S., Szép A., Kertész Sz., László Zs., Szabó G., Hodúr C., (2009), Microwave pre-treatment for enhancing of biogas product and biodegradiblility of food industrial sewage sludge, *Journal on Processing and Engergy in Agriculture*, 13 (1), 71-74.

A tézisfüzetben előforduló irodalmi hivatkozások jegyzéke

- Beszédes S., Géczi G., László Zs., Hodúr C., Szabó G., (2007), Sewage sludge treatment by microwave energy, *Review of Faculty of Engineering*, 11-17 p (ISSN 1788-6392).
- Beszédes S., Kertész Sz., László Zs., Szabó G., Hodúr C., (2009), Biogas production of ozone and/or microwave-pretreated canned maize production sludge, *Ozone Science & Engineering Journal* 31,(3), 257-261.
- Eskicioglu C., Terzian N., Kennedy K., J., Droste R., L., Hamoda M., (2007), Athermal microwave effects for enhancing digestibility of waste activated sludge, *Water Res.*, 41, 2457–2466.
- Eskicioglu C., Prorot A., Marin J., Droste R., L., Kennedy K.,J., (2008), Synergetic pretreatment of sewage sludge by microwave irradiation in presence of H₂O₂ for enhanced anaerobic digestion, *Water Res.*, 42, 4674–4682.
- Gavala H., N., Yenal U., Skiadas I., V., Westerman P., Ahring B., K., (2003), Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of primary and secondary sludge, Effect of pre-treatment at elevated temperature, *Water research*, 37, 5461-4572.
- Higgins M., J., Novak J.,T., (1997), Characterization of exocellular protein and its role in bioflocculation, *J. Environ. Eng.-ASCE*, 123, 479–485.
- Homonnay Zs., Koncz K., (2005), A tejsavóról másképpen 3. rész, *Élelmészeti ipar*, Vol. 59, pp. 278-285.
- Hyung H., Lee S., Yoon J., (2000), Effect of preozonation of flux and water quality in ozonation and ultrafiltration hybrid system for water treatment, *Ozone Sci. Eng.*, 22, 637.
- Jones D., A., Lelyveld T., P., Mavrofidis S., D., Kingman S., W., Miles N., J., (2002), Microwave heating applications in environmental engineering, *Resour. Conserv., Recycl.*, 34, 75–90.
- Kim J., Park C., Kim T., H., Lee M., Kim S., Kim S., W., Lee J., (2003), Effects of various pretreatments for enhanced anaerobic digestion with waste activated sludge, *J. Biosci. Bioeng.*, 95, 271–275; *Conservation and Recycling*, 75-90.
- László Zs., Kertész Sz. , Mlinkovics E., Hodúr C., (2007), Dairy waste water treatment by combining ozonation and nanofiltration, *Sep. Sci. Technol.*, 42 (7), 1627-1637.
- Leite A., R., Guimaraes W., V., de Araujo (2000), et al., Fermentation of sweet whey by recombinant E. coli KO11, *Journal of Microbiology*, 31, 1517-1532.
- Lim Y., P, Mohammed A., W., (2011), Physicochemical properties of mammalian gelatin in reation to membrane process requirement, *Food and Bioprocess Technology*, 4 (2), 304-311.

- Luo J., Lindsey S., Xue J., (2004), Irrigation of meat processing wastewater onto lad, Agriculture, *Ecosystems and Environment*, Vol. 103, pp. 123-148.
- Mohammad M. M., Sudipta De, M. A., Breuhaus P., (2012), An EU initiative for future generation of IGCC power plants using hydrogen-rich syngas: Simulation results for the baseline configuration, *Applied Energy*, 99, 280-290
- Neyens E., Baeyens J., Dewil R., Deheyder B., (2004) Advanced sludge treatment affects extracellular polymeric substances to improve activated sludge dewatering, *J. Hazard. Mater.*, 106, 83–92.
- Ntampou X., Zouboulis A., I., Samaras P., (2006), Appropriate combination of physico-chemical methods (coagulation/flocculation and ozonation) for the efficient treatment of landfill leachates, *Chemosphere*, 62, 722-730.
- Saddoud A., I., Hassairi and Sayadi S., (2007), Anaerobic membrane reactor with phase separation for the treatment of cheese whey, *Bioresource Technology*, 98, 2102-2108.
- Siso G., M., I., (1996), The biotechnological utilization of cheese whey. A review., *Bioresource Technology*, 57, 1-11
- Timmer J., M., Van der Horst H., C., (1998), Whey processing and separation technolgy state-of-art and developments, *Whey: Bulletin 9804*, pp. 40-65, Brussels, Belgium: International Dairy Federation.
- Watenabe H., Kitamura T., Ochi S., Ortega S., and Ozaki M., (1997), Inactivation of Pathogenetic Bacteria under Mesophilic and Thermophilic Conditions, *Water Sci. Technol.*, 36 (6–7), 239–246.

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
<http://epp.eurostat.ec.europa.eu>

Köszönetnyilvánítás

Megköszönöm mindenki segítségét, aki ha csak egy mozdulattal, egy szóval, egy kedves mosollyal, de segített nekem, bízott bennem és biztatott, hogy menjek végig a magam választotta úton!

Köszönet a családomnak és barátaimnak a szeretetért, kitartásért és a türelemért, amivel a hiányomat elviselték; a kollegáimnak, társszerzőimnek a munkájukért, az ötletadó gondolataikért, mestereimnek és mentoraimnak a bátorításért biztatásért, hogy hittek bennem; a tanárainknak, hogy elindítottak és tanítványaimnak, hogy megtartottak ezen a pályán.